

Attachment to Office Action

PAT-NO: JP354121347A  
DOCUMENT IDENTIFIER: JP 54121347 A

---

TITLE: UTILIZATION OF LOW TEMPERATURE OF LIQUEFIED  
NATURAL GAS

PUBN-DATE: September 20, 1979

INVENTOR-INFORMATION:

NAME COUNTRY  
TOMISAKA, YASUSHI

ASSIGNEE-INFORMATION:

NAME COUNTRY  
KOBE STEEL LTD N/A

APPL-NO: JP53028469

APPL-DATE: March 13, 1978

INT-CL (IPC): F01K025/10

US-CL-CURRENT: 60/648

ABSTRACT:

PURPOSE: To increase generated power and reduce the equipment cost of a low temperature utilizing system, by utilizing the low temperature of liquefied natural gas to evaporate it with an evaporator.

---

CONSTITUTION: To reduce power necessary for compression by a compressor C, nitrogen gas is cooled by the LNG evaporator V to the vicinity of the lowest temperature of the LNG and compressed by the compressor C to predetermined pressure and heat-exchanged by a heat recovery unit R with the outlet gas of an expander E so that the nitrogen gas is heated. The evaporator V can handle three fluids. A natural gas expander E' is connected to the compressor C, the expander E and an electric generator G. The natural gas evaporated by the evaporator V is expanded by the expander E' to obtain power. The

natural gas discharged from the expander E' is heat-exchanged again by the evaporator V so that the natural gas is supplied through an outlet pipe Lo.

---

COPYRIGHT: (C) 1979, JPO&Japio

⑤Int. Cl.<sup>2</sup>  
F 01 K 25/10識別記号 ⑥日本分類  
52 F 1庁内整理番号 ③公開 昭和54年(1979)9月20日  
6826-3G発明の数 1  
審査請求 未請求

(全 7 頁)

⑭液化天然ガスの冷熱を利用する方法

神戸市北区泉台1丁目12の7

⑰特 願 昭53-28469

⑰出 願 人 株式会社神戸製鋼所

⑱出 願 昭53(1978)3月13日

神戸市荻合区脇浜町1丁目3番  
18号

⑲発 明 者 富坂泰

⑳代 理 人 弁理士 金丸章一

## 明 細 書

## 1. 発明の名称

液化天然ガスの冷熱を利用する方法

## 2. 特許請求の範囲

液化天然ガスを蒸発器にて蒸発させるに際して、<sup>該</sup>作動ガスを冷却し、<sup>該</sup>作動ガスを圧縮機にて圧縮し、圧縮された<sup>該</sup>作動ガスを熱回収器にて<sup>前記</sup>蒸発器からの作動ガスと熱交換し、熱交換された<sup>該</sup>作動ガスを加熱器にて加熱し、加熱された<sup>該</sup>作動ガスを膨張機にて膨張させて動力を取得し、膨張された<sup>該</sup>作動ガスを前記熱回収器にて前記<sup>圧縮機</sup>からの作動ガスと熱交換し、熱交換された<sup>該</sup>作動ガスを再び前記蒸発器にて液化天然ガスと熱交換することを閉じられた系内にて循環すること

、一方前記蒸発器にて蒸発された天然ガスを別の膨張機にて膨張させて動力を取得し、膨張された<sup>該</sup>天然ガスを前記蒸発器にて液化天然ガスと熱交換することを特徴とする液化天然ガスの冷熱を利用する方法。

## 3. 発明の詳細な説明

この発明は、液化天然ガス(以下LNGと略称

する)をガス状で使用するべく蒸発器にて蒸発させるに際して、<sup>該</sup>液化天然ガスが既に保有する冷熱<sup>を</sup>を利用する方法、より詳しくは冷熱を利用のもとに動力を取得する方法、より現実的には電力として取得する方法に関するものである。

LNGの冷熱を利用した発電プロセスについてはこれまで種々、検討、論議されてきた。

しかしながらLNGの冷熱のみを利用した発電プロセスについては①利用可能な冷熱量の制約から、発電量が過少であること②発電量に比較して設備費が大きく経済的に成立たないこと等の理由から実現していないのが現状である。

これに対し、最近LNG冷熱を利用する遠隔ガスタ

ービン発電システムが提案されており、これは通常のガスタービン発電システムに冷熱利用システムを組み込み、総合的な発電効率の向上を計ろうとするもので、発電量も大きく、また付加される冷熱利用システムの設備費も相対的に小さく、冷熱利用発電の実現の隘路となっていた前記問題点を

解決するものとして期待されている。

本発明は、この発電システムを基礎として、吸られた冷熱からより大量の電力を得る事を目指してなされたものであり、それは蒸発された天然ガス（以下 NG と略称する）のための膨張機をも併用する事により、LNG 液化基地の能力が  $100 \times 10^6$  T/年規模プラントにおいて最大 58.5MW、熱効率 57.6% という高効率が得られる方法を提供するものである。

まず、既提案方法について詳説する。

このプロセスフローの概本は第 1 図に示すとうりである。図中、(V) は蒸発器、(C) は圧縮機、(E) および (D) はタービン類に連動された膨張機（回転型の膨張機）、膨張機（タービン型の膨張機）および発電機、(H) は熱回収器、(W) は加熱器であり、又 (N) は (V) → (E) → (D) → (W) → (H) → (V) を循環する作動ガスとしての窒素ガスのための管路を示し、(L) は液化天然ガスのための管路を示し、ここで (Li) は液化天然ガスの入口管路を示すとともに (Lo) は熱発生側の天然ガスの出口管路を示す。

圧力比が小さいほど  $T_5/T_2$  が大きくなり、機械的損失を考慮しても圧力比 8 ～ 5 程度で最高の効率が得られる。

しかしながらこの程度の圧力比では LNG の冷熱が充分活用できず単位 LNG 量当りの発電量は減少する（圧力比 8 の場合、 $T_2 = -80^\circ\text{C}$ 、従つて  $T_5 = -80 + \Delta T$  で  $\Delta T = 90^\circ\text{deg}$  以下では LNG の再加熱が必要であり、また  $\Delta T = 90^\circ\text{deg}$  以上では効率が下る）。

また、第 3 図は LNG の蒸発曲線（実線）と窒素の冷却曲線（点線および鎖線）を示したものであり、これによれば圧力比をあまり高くすると循環窒素量を減少（鎖線で示す冷却曲線から点線へ）させざるを得なくなり、効率は熱効に低下する。

これらの関係を示したものが第 4 図であり、これによれば圧力比は 7 ～ 10 が最適といえる。

ここで各部の効率はつぎのとおりとする。

圧縮機 (C) : 0.88

膨張機 (E) : 0.90

回転機 (D) : 0.90

上記フローにおいて、窒素ガスは圧縮機 (C) での圧縮所要動力を低減する目的で LNG 蒸発器 (V) において LNG の最低温度近くまで冷却され、次いで圧縮機 (C) により所定の圧力まで圧縮され、熱回収器 (H) により膨張機 (E) の出口ガスと熱交換して加熱され、つぎに、LNG 冷熱および膨張機 (E) により取出される熱を補うため加熱器 (W) にて加熱され、その後膨張機 (D) に供給される。この膨張機 (D) は発電機 (G) 及び圧縮機 (C) と直結されており、窒素ガスの膨張エネルギーにより窒素ガスの圧縮並びに発電を行い、発電機 (G) により動力の取得がなされる。膨張機 (E) を出たガスは熱回収器 (H) において冷却され、再び LNG 蒸発器 (V) に入る。

一方 LNG は蒸発器 (V) にて通常のパイプラインの要求する  $+10^\circ\text{C}$  程度まで加熱蒸発されて (Lo) から系外に出る。

第 2 図は上記プロセスの T-S ダイアグラムである。図中点 (1) は LNG の蒸発器 (V) への供給温度、点 (4) は膨張機 (E) の構成材料の許容温度からきまる。

このサイクルを発電効率の面からのみとらえれば

加熱器 (W) : 0.88

又熱回収器 (H) における温度差  $\Delta T = 50^\circ\text{C}$  とする。

一方、低圧におけるガス圧縮においては、同一圧縮比であつても吸込圧の上昇と共に所要動力は低下する。

第 5 図はその関係を示したものである。ここで圧縮比は 7、吸込温度は  $-140^\circ\text{C}$  とする。

また吸込圧を上昇させることは系全体がコンパクトになる事でもあり、設備の許容する範囲内において高い方が有利である。

以上循環ガス ( $\text{N}_2$  ガス) 側の条件設定について検討したが、LNG 側については、その組成および圧力条件により効率および回収冷熱量は変わる。

第 6 図はその相関を示したものである。

図中 (A) は後記する組成の LNG を 70 ATM にて加熱蒸発させたものであり、(B) は NG パイプライン圧に対応する 10 ATM での蒸発カーブ、(C) は分子重 1.9 の LNG を 70 ATM での蒸発した場合を示しており、これに対応する循環窒素の冷却カーブはそれぞれ A' B' C' である。なお窒素ガスの最低冷却温度は

-140℃一定とした。

本例より当然のことではあるが、単位 LNG 流量 (MANB FLOW) 当りの発電量は LNG の分子量が小さ

いほど、また圧力が低いほど大きくなることとなる。

以上から明らかな通り、当該プロセスにあつては④、⑤の組合せにより最大の発電量並びに最高の効率が得られる事を述べたがこの場合でさえ、④、⑤の曲線相互の関係が示す通り熱力学的には必ずしも高い効率で冷熱を利用しているとは云えない。

本発明は、上記プロセスを改竄したものであつて、その特徴は液化天然ガスを蒸発器にて蒸発させるに際して別の作動ガスを冷却し、該作動ガスを圧縮機にて圧縮し、圧縮された該作動ガスを熱回収器にて後記膨張機からの作動ガスと熱交換し、熱交換された該作動ガスを加熱器にて加熱し、加熱された作動ガスを膨張機にて膨張させて動力を取得し、膨張された該作動ガスを前記熱回収器にて前記圧縮機からの作動ガスと熱交換し、熱交

換された該作動ガスを再び前記蒸発器にて液化天然ガスと熱交換することを閉じられた系内にて循環すること、一方前記蒸発器にて蒸発された天然ガスを別の膨張機にて膨張させて動力を取得し、膨張された該天然ガスを前記蒸発器にて液化天然ガスと熱交換する点に存する。

すなわち第7図を使用して説明するに、図中(V)、(C)、(E)、(D)および(Q)については第1図々々例と概ね同じであるが、本発明においては蒸発器(V)を三流体を取扱い得るものとするとともに、前記圧縮機(C)、膨張機(E)および発電機(D)に直結されたNGのための膨張機(E')を採用のもとに、蒸発器(V)にて蒸発されたNGを膨張機(E')にて膨張させ、以つて動力の取得をなし、この膨張機(E')からのNGを再び蒸発器(V)にて熱交換し、以降(L<sub>0</sub>)からNGの用途に供するようにしたものである。

本発明の方法による効果は次の通りである。なお理解を明確にするために現実的な条件設定をして詳説することとする。

各部条件は下記の通り設定した。

## (1) LNG

供給量  $100 \times 10^4$  T/YEAR  
(125000 kg/H)

供給温度  $-153^\circ\text{C}$

供給圧力 71 ATM

組成

N <sub>2</sub>	0.1 mol %
CH <sub>4</sub>	96.8 %
O <sub>2</sub> H <sub>6</sub>	2.8 %
C <sub>3</sub> H <sub>8</sub>	0.6 %
i-C <sub>4</sub> H <sub>10</sub>	0.1 %
n-C <sub>4</sub> H <sub>10</sub>	0.1 %
i-C <sub>5</sub> H <sub>12</sub>	0.022 %
n-C <sub>5</sub> H <sub>12</sub>	0.014 %
n-C <sub>6</sub> H <sub>14</sub>	0.004 %

## (2) NG 出口条件

圧力 8.5 ATM

温度  $10^\circ\text{C}$

## (3) 構成機器の効率

窒素圧縮機(C) (軸流型式)	0.86
窒素膨張機(E) (タービン型式)	0.90
NG 膨張機(E') ( )	0.87
加熱器(H)	0.88

なお圧縮機(C)の吐出圧力は軸封等の技術的制約より  $50 \text{ kg/cm}^2 \text{ g}$  と設定し、窒素膨張機(E)入口温度はその許容温度より  $720^\circ\text{C}$  とした。

以上条件において、第8図は LNG 昇温並びに窒素冷却曲線を示したものであり、又、表1はこの方式と他方式(④および⑤は第6図における LNG 昇温曲線、④⑤にそれぞれ対応するものである。)とを比較したものである。

これによれば本発明方法は、発電量において④方式の48%、⑤方式の24%増となり、しかも効率は57.6%という高効率が可能となることがわかる。なお、窒素圧縮機(C)の圧縮比は熱回収器(H)の温度差が等しくなる様設定した。

表 1

	本発明方法	(A)	(B)
N <sub>2</sub> 流量 $\text{kg/h}$	682800	478800	888400
N <sub>2</sub> 圧縮機(C)の圧縮比	7.2	10	9
回収/所要動力			
N <sub>2</sub> 膨張機(B) $\text{kW}$	72559	56411	68952
( $\eta=90\%$ ) $\text{kca}/\text{h}$	$62.40 \times 10^6$	$48.51 \times 10^6$	$55.0 \times 10^6$
N <sub>2</sub> 圧縮機(C) $\text{kW}$	24622	19025	20980
( $\eta=86\%$ ) $\text{kca}/\text{h}$	$21.18 \times 10^6$	$16.86 \times 10^6$	$18.0 \times 10^6$
NG 膨張機(B') $\text{kW}$	5584	/	/
( $\eta=87\%$ ) $\text{kca}/\text{h}$	$4.76 \times 10^6$	/	/
発電機 $\text{kW}$	58471	87886	48022
$\text{kca}/\text{h}$	$45.98 \times 10^6$	$82.15 \times 10^6$	$87.0 \times 10^6$
回収/供給熱電			
LNG 蒸発器(V) $\text{kca}/\text{h}$	$28.98 \times 10^6$	$21.98 \times 10^6$	$24.48 \times 10^6$
加熱器( $\eta=88\%$ ) $\text{kca}/\text{h}$	$79.77 \times 10^6$	$61.51 \times 10^6$	$69.81 \times 10^6$
効 率 %	57.6	52.8	58.0
単位 LNG 当り			
発電量 $\text{kW}/\text{kg}$	0.428	0.299	0.844
単位発電量当り			
所要熱電 $\text{kca}/\text{kW}$	1492	1645	1628

本発明方法と通常の火力発電システムとの比較を  
すると、約 18.8% の熱効率アップとなり、これを冷  
熱利用による発電量に換算すれば  $16870 \text{ kWh}/(125$

$\text{T/H LNG})$ ,  $0.181 \text{ kWh}(118 \text{ kcal})/\text{kg LNG}$  相当の冷  
熱が回収できることになる。

またこれを LNG 冷熱のみを利用する他の型式の発  
電システムと比較すると回収電力は約 8 倍であり  
、さらに LNG 冷熱発電システム実現のネックとな  
っている設備費は、他の方式では  $200 \sim 500 \text{ 千円}$   
/ $\text{kW}$  に対し本方式では通常のガスタービンシス  
テムに LNG 蒸発器および NG 膨張機が付加される  
のみで、この付加される設備は前述した規模のプ  
ラントにおいては試算の結果約 9 億円であり、単  
位回収電力当りでは  $55 \text{ 千円}/\text{kW}$ 、更に LNG 蒸発器  
は LNG 受入には不可欠であるから、これを除外す  
れば  $18 \text{ 千円}/\text{kW}$  という非常に安価なものとなる

。なお LNG ベーパライザとしては低圧用熱交換器と  
して広く使用されているアルミニウム合金製のプ  
レートフィン型のもので試算した。

以上述べた通り、本発明による動力回収は冷熱の  
高回収率、低設備費という LNG 冷熱利用発電シス  
テムに関する冒頭で述べた 2 つの問題点をいずれ  
も解決できる有効な方法である。

#### 4. 図面の簡単な説明

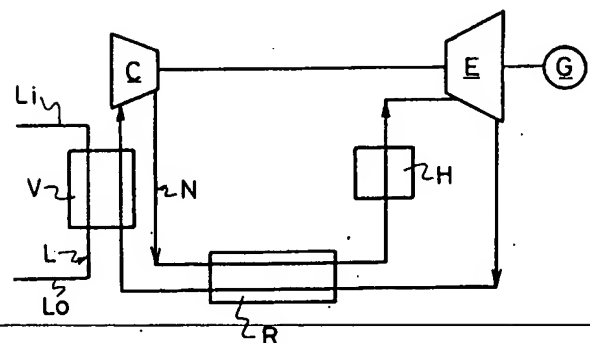
第 1 図は本発明と類似の方法のフローチャート、第 2、3、4、5 図は夫々第 1 図々示方法に  
おける N<sub>2</sub> ガス側回路の T-S 線図、T-Q 線図、  
総合効率を示す線図、吸込圧力-所要電力線図、  
第 6 図は第 1 図々示方法における LNG 側回路の T  
-Q 線図、第 7 図は本発明の方法のフローチャート、  
第 8 図は第 7 図々示方法における第 6 図と同  
様の線図である。

図中 (V): 蒸発器 (C): 圧縮機  
(R): 熱回収器 (H): 加熱器  
(B)(B'): 膨張機 (G): 発電機

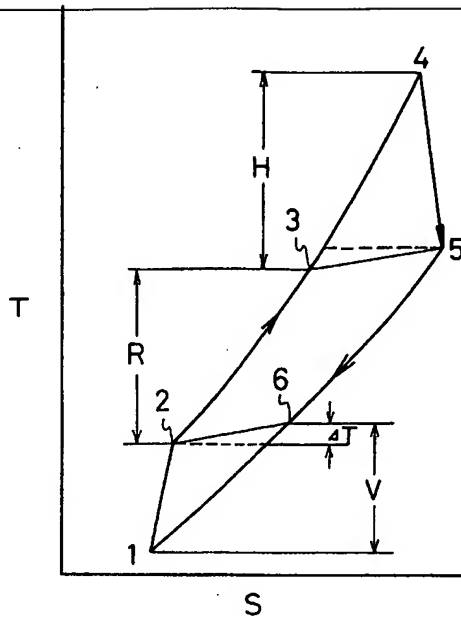
特許出願人 株式会社 神戸製鋼所  
代理人 井理士 金丸 章



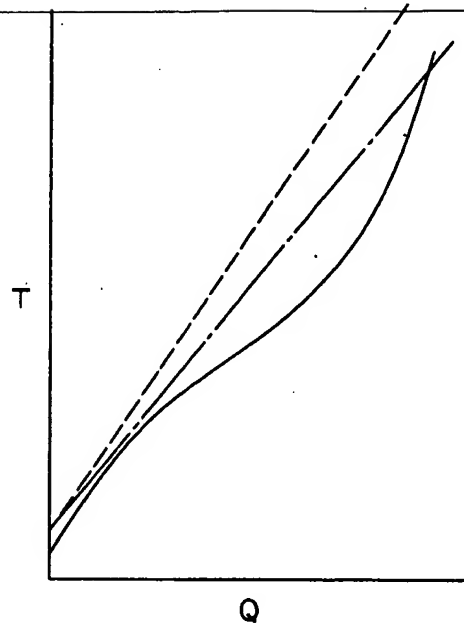
第 1 図



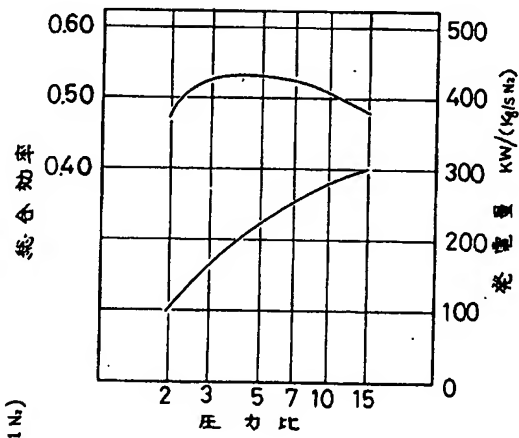
第2図



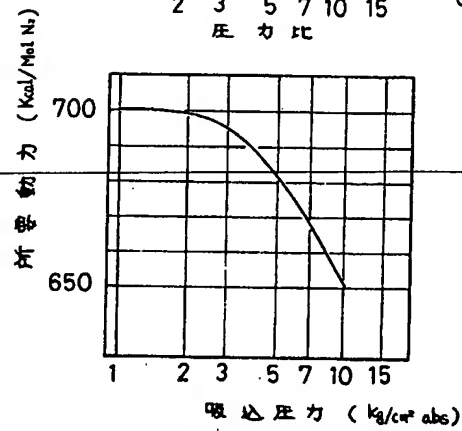
第3図

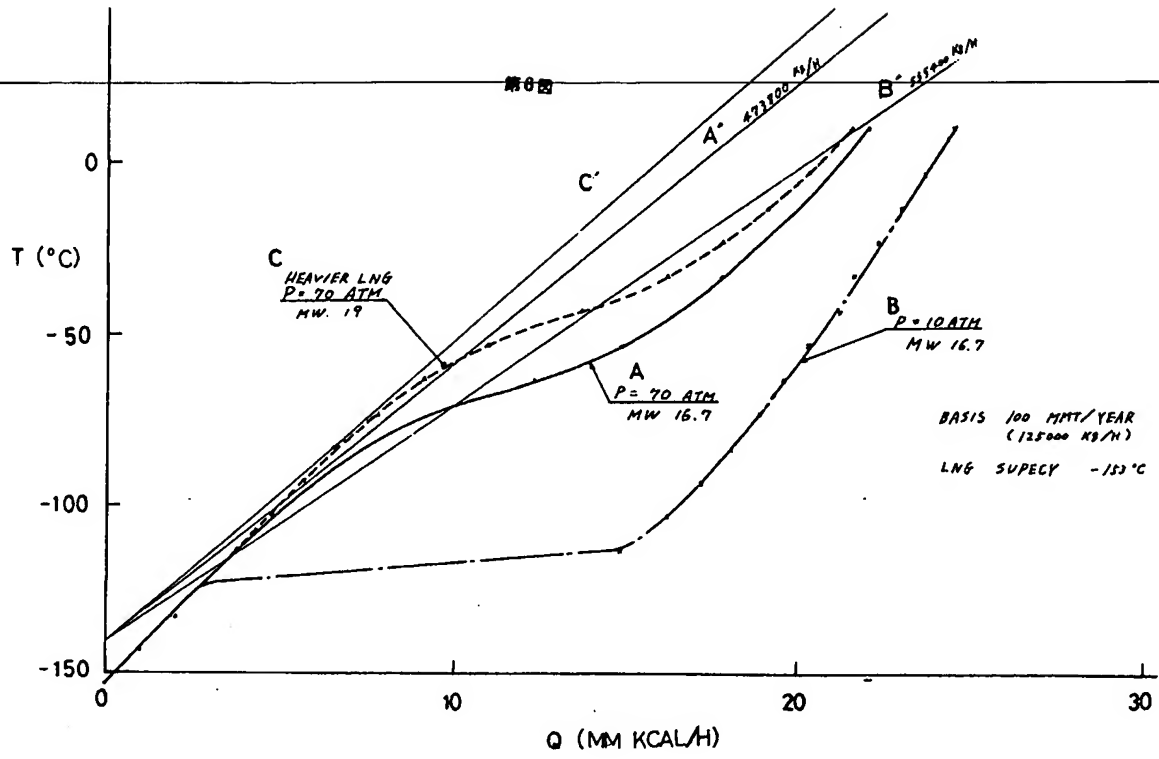


第4図

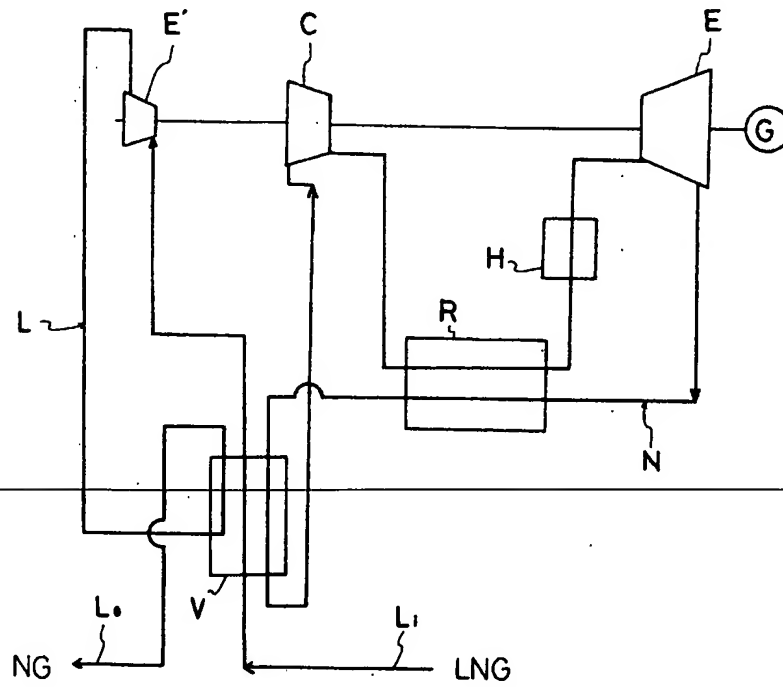


第5図





第7図





第8圖

